

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**PRIORITY
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

REC'D 08 MAR 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:**

102 56 696.8

Anmeldetag:

04. Dezember 2002

Anmelder/Inhaber:

Mattson Wet Products GmbH, Pliezhausen/DE

Bezeichnung:

Verfahren zum Trocknen von Substraten

IPC:

H 01 L, F 26 B, C 23 C

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 16. Dezember 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Verfahren zum Trocknen von Substraten

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Trocknen von Substraten, insbesondere Halbleiterwafern nach einer Nassbehandlung in einer Behandlungsflüssigkeit, bei dem ein die Oberflächenspannung der Behandlungsflüssigkeit reduzierendes Gasgemisch bestehend aus einem Trägergas und einer aktiven Komponente auf die Behandlungsflüssigkeit aufgebracht wird und die Substrate aus der Flüssigkeit herausbewegt werden.

Ein derartiges Verfahren ist beispielsweise aus der auf dieselbe Anmelderin zurückgehenden DE-A-197 03 646 bekannt. Bei dem bekannten Verfahren werden die Halbleiterwafer zunächst in einem mit Behandlungsflüssigkeit gefüllten Becken behandelt, wobei unterschiedliche Flüssigkeiten in das Behandlungsbecken eingeleitet werden können, um unterschiedliche Behandlungsschritte durchzuführen. Als letzter Behandlungsschritt wird üblicherweise DI-Wasser, d.h. deionisiertes Wasser in das Behandlungsbecken eingeleitet, um die Wafer zu spülen.

Anschließend werden die Wafer langsam aus dem Becken herausbewegt, wobei zuvor eine Gasmischung aus Stickstoff und Isopropylalkohol (IPA) auf das DI-Wasser geleitet wird. Der Stickstoff dient dabei als Trägergas, während der IPA eine aktive Komponente darstellt, welche sich mit dem DI-Wasser vermischt und dabei die Oberflächenspannung verringert. Beim Herausbewegen der Wafer aus dem DI-Wasser wird das Wasser durch den sogenannten Marangoni-Effekt von den Wafern abgeleitet, so dass sie über der Wasseroberfläche vollständig trocken sind.

Zur Herstellung des Gasgemisches wird in der Regel Stickstoff durch flüssigen IPA hindurchgeleitet, wodurch der Stickstoff einen Teil des IPA aufnimmt. Bei dem bekannten Verfahren wird ein konstanter Stickstoff-Volumenstrom eingestellt, der während des gesamten Trocknungsvorgangs konstant gehalten wird.

Während des Hindurchleitens des Stickstoffs kühlt der IPA jedoch aufgrund der Aufnahme des IPA im Stickstoff ab, wodurch sich die gesamte Temperatur des IPA verringert. Eine Temperaturänderung des flüssigen IPA führt jedoch dazu, dass sich die Konzentration des IPA in dem Gasgemisch verändert, da die Aufnahmefähigkeit des Stickstoffs für IPA bei sinkender Temperatur abnimmt. Beispielsweise wäre bei einer IPA-Temperatur von 22°C die IPA-Konzentration in dem Gasgemisch bei ungefähr 30 % einer unteren Explosionsgrenze (LEL = Lower Explosive Level). Es sei bemerkt, dass beispielsweise bei der Halbleitertrocknung mit LEL gerechnet wird, wobei 100 % LEL etwa 2 Volumenprozent IPA in dem Gasgemisch entsprechen. Bei einer IPA-Temperatur von 15°C würde die IPA-Konzentration beispielsweise 20 % LEL entsprechen. Eine typische Temperaturdifferenz, die während aufeinanderfolgender Trocknungsvorgänge auftreten können, beträgt 2 bis 3°C, was einer Konzentrationsänderung des IPA von bis zu 5 % LEL entsprechen kann.

Eine Veränderung der IPA-Konzentration kann jedoch den Trocknungsvorgang erheblich beeinflussen, wobei eine zu niedrige Konzentration zu einer unzureichenden Trocknung führt, und eine zu starke Konzentration zu einer Kondensation von IPA auf den Wafern führt, was wiederum eine Fleckenbildung und eine Beeinträchtigung der Waferqualität mit sich bringen kann.

Ausgehend von dem bekannten Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung daher die Aufgabe zugrunde, eine wählbare, vorzugsweise konstante IPA-Konzentration zu jedem Zeitpunkt des Trocknungsprozesses vorzusehen. Dabei sollte insbesondere an der Grenzfläche zwischen dem Gasgemisch und einer Behandlungsflüssigkeit eine gleichmäßige Konzentration vorgesehen werden. Eine weitere Aufgabe der Erfindung liegt darin, eine kontrolliert veränderbare IPA-Konzentration in dem Gasgemisch über die Prozesszeit hinweg zu ermöglichen. Die Änderung soll insbesondere unter dem Gesichtspunkt möglich sein, eine gleichmäßige IPA-Konzentration an der Grenzfläche zwischen dem Gasgemisch und der Behandlungsflüssigkeit vorzusehen. Als weitere allgemeine Aufgabe ist das Vorsehen von optimierten Trocknungsbe-

dingungen ohne die Gefahr einer IPA-Kondensation auf den Wafern vorzusehen.

5 Erfindungsgemäß wird die Aufgabe bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass die Konzentration der aktiven Komponente im Gasgemisch gesteuert oder geregelt wird, um optimierte Trocknungsbedingungen ohne die Gefahr einer Kondensation der aktiven Komponente auf den Substraten zu erreichen.

10 Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird das Oberflächenspannung der Behandlungsflüssigkeit reduzierende Gasgemisch durch Mischen von im Wesentlichen reinen Trägergas und einer Mischung aus Trägergas und der aktiven Komponente gebildet wird. Bei diesem Verfahren lässt sich durch einfache Einstellung des Volumenstroms des reinen Trägergases oder der Mischung die Konzentration der aktiven Komponente in der schlussendlichen Gasmischung einstellen. Insbesondere lässt sich eine konstante Konzentration der aktiven Komponente erzielen, selbst wenn die Konzentration in der Mischung aus Trägergas und der aktiven Komponente abfällt, in dem beispielsweise die Zuleitung des reinen Trägergases reduziert wird. Ferner lässt sich leicht eine Erhöhung oder Erniedrigung der Konzentration der aktiven Komponente in dem Gasgemisch erreichen, um auf sich verändernde Prozessbedingungen eingehen zu können.

25 Bei einer Ausführungsform der Erfindung wird die Mischung aus Trägergas und der aktiven Komponente durch Leiten des Trägergases durch eine Flüssigkeit der aktiven Komponente gebildet und die Temperatur der Flüssigkeit der aktiven Komponente auf eine vorbestimmte Temperatur gesteuert oder geregelt, um über die Temperatursteuerung der Flüssigkeit die Konzentration der aktiven Komponente zu beeinflussen.

30 Bei einer alternativen Ausführungsform der Erfindung wird die Temperatur der Flüssigkeit der aktiven Komponente im Wesentlichen konstant gehalten, um eine im Wesentlichen konstante Konzentration der aktiven Komponente in der

Mischung aus Trägergas und der aktiven Komponente vorzusehen, wobei eine Konzentrationsveränderung in der schlussendlichen Gasmischung über die Zuleitung des reinen Trägergases erfolgen kann.

- 5 Für eine alternative Einstellung der Konzentration wird die Temperatur der Flüssigkeit der aktiven Komponente über einen Trocknungsvorgang hinweg kontrolliert verändert. Dabei wird vorzugsweise die Konzentration der aktiven Komponente in der Mischung aus Trägergas und der aktiven Komponente gemessen und die Temperatur der Flüssigkeit der aktiven Komponente in Ab-
10 hängigkeit von der gemessenen Konzentration eingestellt, um zu jedem Zeitpunkt eine gewünschte Konzentration vorsehen zu können.

- Bei einer alternativen Ausführungsform der Erfindung wird zum Erreichen einer veränderten Konzentration der aktiven Komponente im Gasgemisch der
15 Volumenstrom des Trägergases über einen Trocknungsvorgang hinweg verändert. Dabei wird die Konzentration der aktiven Komponente vorzugsweise in der Mischung aus Trägergas und der aktiven Komponente gemessen und der Volumenstrom des Trägergases in Abhängigkeit von der gemessenen Konzentration eingestellt, um die gewünschte Konzentration der aktiven Kompo-
20 nente im schlussendlichen Gasgemisch zu erreichen.

- Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe wird ferner durch ein Verfahren zum Trocknen von Substraten der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass das Gasgemisch wenigstens teilweise durch Einleiten einer vorbe-
25 stimmten Menge des Trägergases und einer vorbestimmten Menge einer Flüssigkeit der aktiven Komponente in einen Verdampfer gebildet wird. Die Bildung des die Oberflächenspannung der Behandlungsflüssigkeit reduzierenden Gasgemisches wenigstens teilweise in einem Verdampfer, in dem vorbestimmte Mengen eines Trägergases und einer Flüssigkeit der aktiven Kom-
30 ponente eingeleitet werden, ermöglicht eine sehr genaue Konzentrationssteuerung der aktiven Komponente im Gasgemisch. Darüber hinaus ermöglicht dieses Verfahren eine sehr rasche Veränderung der Konzentration, ins-

besondere eine sehr rasche Erhöhung der Konzentration, falls dies notwendig ist.

Dabei wird die Konzentration der aktiven Komponente im Gasgemisch vorzugsweise gesteuert oder geregelt. Bei einer Ausführungsform der Erfindung wird die Konzentration der aktiven Komponente nach dem Verdampfer gemessen und der Volumenstrom des Trägergases und/oder der Flüssigkeit der aktiven Komponente in Abhängigkeit von der gemessenen Konzentration eingestellt. Hierdurch kann eine gewünschte Konzentration der aktiven Komponente sichergestellt werden. Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Konzentration der aktiven Komponente im Gasgemisch in Abhängigkeit von der Position des Substrates relativ zur Flüssigkeitsoberfläche verändert. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass die Konzentration der aktiven Komponente insbesondere im Bereich der Grenzfläche zwischen dem Gasgemisch und der Behandlungsflüssigkeit zu jedem Zeitpunkt eine gewünschte Konzentration aufweist. Strömungsbedingte Konzentrationsänderungen an der Grenzfläche Gasgemisch/Behandlungsflüssigkeit können durch eine Konzentrationsänderung des eingeleiteten Gasgemisches ausgeglichen werden. Dabei wird insbesondere die Konzentration der aktiven Komponente im Gasgemisch in Abhängigkeit von einer Schnittfläche zwischen den Substraten und der Behandlungsflüssigkeit verändert. Vorzugsweise wird die Konzentration der aktiven Komponente im Gasgemisch bei anwachsender Schnittfläche erhöht und bei sich verringernder Schnittfläche verringert.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die aktive Komponente Isopropylalkohol (IPA) und die durchschnittliche IPA-Konzentration im Gasgemisch wird unter 15 %, insbesondere unter 10 % des unteren Explosionsniveaus (LEL) gehalten. Eine Konzentrationseinstellung, insbesondere in Abhängigkeit von der Position der Substrate, ermöglicht es eine durchschnittlich niedrigere IPA-Konzentration vorzusehen, die unter dem üblichen Niveau liegt, da Schwankungen ausgeglichen werden können. Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung liegt die durch-

schnittliche IPA-Konzentration im Gasgemisch zwischen ungefähr 3 % und ungefähr 10 % des unteren LEL.

Die Erfindung wird Nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. In den Zeichnungen zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Halbleiterbehandlungsvorrichtung der vorliegenden Erfindung;

10 Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Gaswaschflasche bzw. eines Bubblers gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines alternativen Systems zum Erzeugen eines Trocknungsgases gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 eine schematische Darstellung einer weiteren Vorrichtung zur Erzeugung eines Trocknungsgases gemäß der vorliegenden Erfindung;

15 Fig. 5 eine Kurve, welche die Veränderung der IPA-Konzentration während eines Trocknungsvorgangs von Halbleiterwafern zeigt.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung 1 zum Behandeln von Halbleiterwafern 2. Die Vorrichtung besitzt einen Nassbehandlungsteil 4, wie er beispielsweise aus der auf dieselbe Anmelderin zurückgehenden DE-A-197 03 646 bekannt ist, auf die insofern Bezug genommen wird, um Wiederholungen zu vermeiden. Der Nassbehandlungsteil 4 weist ein Behandlungsbecken 6 mit einem Überlauf 7 auf. Das Behandlungsbecken 6 ist zur Aufnahme einer Vielzahl von Halbleiterwafern 2, die in Fig. 1 in der Blattebene hintereinander liegen, geeignet. Hierzu kann das Behandlungsbecken 6 an den Seitenwänden Führungen aufweisen, oder die Wafer 2 können über einen Substratträger in dem Becken 6 aufgenommen sein. Unterhalb der Wafer 2 ist ein Hubelement 9, das üblicherweise als Messer bezeichnet wird, vorgesehen, um die Wafer 2 in dem Becken 6 in Vertikalrichtung zum Einsetzen und Entnehmen der Wafer 2 zu bewegen. Das Behandlungsbecken 6 weist wenigstens eine nicht dargestellte Zuleitung für eine Behandlungsflüssigkeit auf, wobei in dem Behandlungsbecken 6 unterschiedliche Nassbe-

handlungen in bekannter Art und Weise nacheinander ausgeführt werden können. Das Behandlungsbecken 6 weist ferner einen Auslass 11 zum Ablassen der Behandlungsflüssigkeit auf. Dieser Auslass 11 ist üblicherweise als Schnellablass ausgebildet, um ein rasches Ablassen der Behandlungsflüssigkeit nach der Behandlung zu ermöglichen.

Die Behandlungsvorrichtung 1 weist ferner einen Trocknungsteil 13 auf, der bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel 1 im Wesentlichen aus einer Haube 15 mit einem Gaseinlass 16 besteht. Die Haube 15 dient in bekannter Weise zur Aufnahme der Halbleiterwafer 2 nach der Nassbehandlung und kann zu diesem Zweck seitliche Führungsschienen aufweisen. Die Haube 15 kann ferner in bekannter Art und Weise bewegbar sein, für einen Transport der darin aufgenommenen Halbleiterwafer 2. In Fig. 1 ist die Haube 15 so dargestellt, dass sie über dem Behandlungsbecken 6 plaziert ist, so dass die Halbleiterwafer 2 aus dem Behandlungsbecken 6 direkt in die Haube 15 bewegt werden könnten. Der Gaseinlass 16 der Haube 15 dient für den Einlass eines Trocknungsgases in die Haube 15. Obwohl der Gaseinlass 16 an einem oberen Ende der Haube 15 dargestellt ist, könnte der Gaseinlass an unterschiedlichen Positionen der Haube angeordnet sein, und er könnte unterschiedliche Konfigurationen besitzen. So könnten z.B. eine Vielzahl von Gaseinlassdüsen vorgesehen sein, die derart angeordnet sind, dass sie speziell in die Zwischenräume der von der Haube 15 aufgenommenen Wafer gerichtet sind.

Die Behandlungsvorrichtung 1 besitzt ferner eine Vorrichtung 20 zum Erzeugen des Trocknungsgases. Das derzeit bevorzugte Trocknungsgas ist ein Gasgemisch aus einem Trägergas, insbesondere Stickstoff und einer aktiven Komponente, insbesondere Isopropylalkohol (IPA). Das IPA als aktive Komponente dient dazu, die Oberflächenspannung der Flüssigkeit im Bereich des beim Herausbewegen eines Wafers stets auftretenden Meniskus derart zu reduzieren, dass die Behandlungsflüssigkeit vollständig von dem Wafer 2 abfließt. Dieses Verfahren ist in der Technik als Trocknung nach dem Marangoni-Prinzip bekannt.

Die Vorrichtung 20 besitzt eine Zuleitung 22 für Stickstoff, die mit zwei Mengendurchfluss-Steuereinrichtungen, die auch als mass-flow-controller (MFC) bezeichnet werden, verbunden ist. Die beiden MFC 24, 25 stehen mit einer
5 Steuereinheit 27 in Verbindung, wie nachfolgend noch näher beschrieben wird.

Die MFC 24 besitzt eine Auslassleitung 29, die in eine Gaswaschflasche 31, die auch als Bubbler bezeichnet wird, führt. In dem Bubbler 31 ist flüssiger Isopropylalkohol (IPA) enthalten, und die Auslassleitung 29 des MFC 24 erstreckt
10 sich in einem Bereich unterhalb der Oberfläche der IPA-Flüssigkeit. Der Bubbler 31 besitzt ferner eine Auslassleitung 34, die zum Einlass 16 der Haube 15 führt. Ein Einlass 35 der Auslassleitung 34 des Bubblers 31 liegt oberhalb der IPA-Flüssigkeit 32.

15 Stickstoffgas, das durch die MFC 24 geleitet wird, strömt somit durch die Leitung 29 in die IPA-Flüssigkeit 32 hinein, und steigt in der IPA-Flüssigkeit 32 auf. Beim Aufsteigen wird ein Teil der IPA-Flüssigkeit 32 in bekannter Weise in dem Stickstoffgas aufgenommen, wodurch sich oberhalb der Flüssigkeit 32
20 eine Mischung aus Stickstoffgas und gasförmigem IPA ergibt. Diese Mischung wird über die Leitung 34 zum Einlass 16 der Haube 15 geleitet, wo es als Trocknungsgas verwendet wird.

Die Konzentration des IPA in der Gasmischung hängt unter anderem von der
25 Temperatur des eingeleiteten Stickstoff, der Temperatur der IPA-Flüssigkeit und dem Druck in dem Bubbler ab. Eine höhere Temperatur des Stickstoffgases und der IPA-Flüssigkeit führen zu einer höheren Konzentration des IPA in der Gasmischung, da die Aufnahme der IPA-Flüssigkeit gefördert wird. Ferner führt ein niedriger Druck im Bubbler 31 ebenfalls zu einer erhöhten Konzen-
30 tration von IPA in der Gasmischung.

Die zweite MFC 25 ist, wie in Fig. 1 zu erkennen ist, parallel zur ersten MFC 24 angeordnet. Eine Auslassleitung 37 der MFC 25 steht mit der Auslasslei-

tung 34 des Bubblers 31 in Verbindung, und zwar bevor die Auslassleitung 34 in den Anlass 16 der Haube 15 mündet. Die Auslassleitung 37 mündet bei 40 in die Auslassleitung 34, so dass an diesem Punkt und in einem Leitungsabschnitt 42, der zwischen der Stelle 40 und dem Einlass 16 der Haube 15 liegt, 5 eine Vermischung der Gase aus der MFC 25 und dem Bubbler 31 erfolgt. In dem Leitungsabschnitt 42 ist eine Konzentrationsmesseinheit 44 angeordnet, welche die Konzentration des IPA in dem Stickstoffgas-IPA-Gemisch misst, und das Ergebnis der Messung an die Steuereinheit 27 weiterleitet.

10 Anhand der Fig. 1 wird nachfolgend der Betrieb der Behandlungsvorrichtung 1 näher erläutert.

Zunächst werden die Halbleiterwafer 2 in das mit einer Behandlungsflüssigkeit gefüllte Behandlungsbecken 6 eingesetzt, und anschließend in bekannter 15 Weise mit einer oder mehreren Behandlungsflüssigkeit behandelt. Als letzter Schritt der Behandlung werden die Halbleiterwafer 2 in deionisiertem Wasser (DI-Wasser) gespült.

Nach dem Spülvorgang wird ein im Abschnitt 20 hergestelltes Gasgemisch aus Stickstoff und Isopropylalkohol in die Haube 15 eingeleitet und dadurch auf die Oberfläche des DI-Wassers aufgebracht. Dabei wird die IPA- 20 Konzentration im Gasgemisch durch die Messeinheit 44 erfasst, und durch eine Steuerung des Volumenstroms durch die MFC 24 und 25 wird die Konzentration auf einen vorbestimmten Wert eingestellt. Beispielsweise kann zu- 25 nächst eine etwas höhere Konzentration gewählt werden, um rasch ausreichend IPA auf der Wasseroberfläche bereitzustellen. Anschließend kann die Konzentration zunächst auf einen gewünschten, für die Trocknung erforderlichen Wert, verringert werden.

30 Anschließend werden bei weiterer Einleitung des Gasgemisches die Wafer 2 langsam aus dem DI-Wasser herausgehoben, wobei das IPA in dem Gasgemisch ein vollständiges Abfließen des Wassers von den Wafern 2 gemäß dem Marangoni-Effekt bewirkt. Während des Heraushebens der Wafer 2 aus dem

DI-Wasser vergrößert sich die Schnittfläche der Wafer mit der Flüssigkeit. Dies führt zu einer Zunahme der Flüssigkeitsoberfläche im Bereich des Meniskus. Somit wird mit zunehmender Schnittfläche absolut mehr IPA in der Oberflächenflüssigkeit absorbiert. Folglich sinkt die IPA-Konzentration im Gasgemisch mit zunehmender Schnittfläche bzw. erhöht sich mit abnehmender Schnittfläche. Somit ergibt sich eine Abhängigkeit zwischen der Schnittfläche der Substrate mit dem DI-Wasser und der Konzentrationsänderung des IPA an der Grenzfläche zwischen dem Gasgemisch und dem DI-Wasser gegenüber der Konzentration des am Einlass 16 eingeleiteten Gasgemisches.

Um sicherzustellen, dass trotz dieser Konzentrationsänderung ausreichend IPA für eine vollständige Trocknung der Wafer 2 zur Verfügung steht, wird die Konzentration des IPA im Gasgemisch während des Heraushebens der Wafer 2 erhöht, und zwar bis die Wafer 2 bis zur Hälfte aus der Behandlungsflüssigkeit herausgehoben sind, und anschließend wird die IPA-Konzentration wieder verringert.

Die IPA-Konzentration des Gasgemisches wird vorzugsweise unter 15 % des unteren Explosionsniveaus (LEL) gehalten, wobei 100 % LEL zwei Volumenprozent IPA in dem Gasgemisch entsprechen. Vorzugsweise wird die IPA-Konzentration unter 10 % LEL, insbesondere zwischen 3 und 10 % LEL eingestellt, und zwar je nach Prozessbedingung.

Nachdem die Halbleiterwafer 2 vollständig aus dem DI-Wasser herausgehoben sind, wird kein DI-Wasser mehr zugeführt und die im Behandlungsbecken 6 befindliche Behandlungsflüssigkeit wird über den Auslass 11 abgelassen. Während des Ablassens des DI-Wassers kann aufgrund des fehlenden Overflows mit IPA angereichertes Oberflächenwasser nicht mehr abtransportiert werden. Es tritt eine Sättigung des Wassers mit IPA ein, die dazu führt, dass sich die Konzentration im Gasgemisch über der Wasseroberfläche anreichert. Dieser Anstieg der IPA-Konzentration kann an der Konzentrationsmesseinheit 44 erfasst und über die Steuereinrichtung 27 ausgeglichen werden, in dem die Volumenströme durch die MFC 24 oder 25 in entsprechender Weise eingestellt werden. Statt zunächst eine Konzentrationserhöhung zu bewirken, die

an der Konzentrationsmesseinheit 44 erkannt wird, kann die Vorrichtung im Wesentlichen vorausschauend die Gasströmungen durch die MFC 24 bzw. 25 verändern, sobald die Überlaufströmung gestoppt wird und während das DI-Wasser abgelassen wird. Anschließend wird die Haube 15 mit reinem Stickstoff gespült und die Halbleiterwafer 2 werden in geeigneter Weise entweder in der Haube 15 oder auf andere Weise abtransportiert.

Die erfüllungsgemäße Vorrichtung und speziell das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht somit eine Einstellung der IPA-Konzentration in der Haube 15. Obwohl in Fig. 1 eine Konzentrationsmesseinheit 44 verwendet wird, um eine Regelung der IPA-Konzentration vorzusehen, könnte die Vorrichtung auch ohne Konzentrationsmessung auskommen, indem die Volumenströme durch die MFC 24 und 25 anhand vorgegebener Parameter gesteuert werden. Statt einer Konzentrationsmesseinheit in dem Leitungsabschnitt 42, d.h. zwischen dem Punkt 40 und dem Einlass 16 der Haube 15 vorzusehen, ist es auch möglich, eine Konzentrationsmessung in der Leitung 34 vor dem Punkt 40 vorzusehen, wobei dann die IPA-Konzentration des aus dem Bubbler 31 austretenden Gasgemisches gemessen wird.

Fig. 2 zeigt eine alternative Ausführungsform eines Gaserzeugungsabschnittes 20 der Behandlungsvorrichtung 1, wobei in Fig. 2 dieselben Bezugszeichen verwendet werden, wie in Fig. 1, sofern dieselben oder äquivalente Elemente betroffen sind.

Der Gaserzeugungsabschnitt 20 besitzt eine Stickstoffzuleitung 22, die mit einem MFC 24 verbunden ist. Eine Ausgangsleitung 29 des MFC 24 erstreckt sich in einen Bubbler 31, der mit flüssigem IPA 32 gefüllt ist. Eine Auslastleitung 34 des Bubblers 31 führt zu einem nicht dargestellten Einlass 16 einer Haube 15.

Bei dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel ist keine zweite MFC vorgesehen, die mit der Stickstoffzuleitung 22 und der Auslassleitung 34 des Bubblers 31 in Verbindung steht. Es sei jedoch bemerkt, dass optional auch

eine zweite MFC wie beim ersten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 vorgesehen sein könnte.

Der Bubbler 31 besitzt eine Heizspule 50, die innerhalb des flüssigen IPA 32 liegt, und die Ausgangsleitung 29 der MFC 24 umgibt. Die Heizspule 50 steht mit einer Steuereinheit 52 zum Steuern der Heizspule 50 in Verbindung. Die Steuereinheit 52 steht ferner mit einem im Bubbler 31 angeordneten Temperatursensor 54 sowie einer in der Auslassleitung 34 des Bubblers 31 angeordnete Konzentrationsmesseinheit 56 in Verbindung.

Der Betrieb des Gaserzeugungsabschnitts 20 gemäß Fig. 2 wird nachfolgend näher erläutert.

Zum Erzeugen eines Gasgemisches aus Stickstoff und IPA wird über die MFC 24 derart in den Bubbler 31 eingeleitet, dass der Stickstoff durch den flüssigen IPA 32 hindurchströmt und dabei IPA in dem Stickstoff aufnimmt. Die Aufnahme des IPA führt zu einer Abkühlung des verbleibenden flüssigen IPA 32. Um jedoch eine bestimmte IPA-Aufnahme durch den Stickstoff zu gewährleisten, wird die Temperatur des flüssigen IPA 32 über den Temperatursensor 54 gemessen und an die Steuereinheit 52 weitergeleitet. Die Steuereinheit 52 steuert in Abhängigkeit von der gemessenen Temperatur die Heizspirale 50 an, um die Abkühlung des flüssigen IPA 32 auszugleichen, das heißt es wird versucht, eine vorbestimmte Temperatur des flüssigen IPA 32 beizubehalten. Die Heizspirale 50 dient somit im Wesentlichen zur Kompensation der durch die IPA-Aufnahme auftretenden Temperaturverluste im flüssigen IPA.

Bei einer vorgegebenen Temperatur des flüssigen IPA 32 wird beim Hindurchleiten des Stickstoffs eine im Wesentlichen vorbestimmte IPA-Konzentration in dem Stickstoffgas erzeugt. Diese wird durch die Konzentrationsmesseinheit 56 in der Auslassleitung 34 des Bubblers 31 gemessen. Das Messergebnis wird an die Steuereinheit 52 weitergeleitet. Wenn die gemessene IPA-Konzentration von einer gewünschten IPA-Konzentration in dem Gasgemisch

abweicht, kann die Steuereinheit 52 die Heizspule 50 derart ansteuern, dass die Temperatur des flüssigen IPA 32 geändert wird, um hierdurch eine erhöhte oder verringerte Aufnahme des IPA in dem Stickstoffgas zu erreichen, wobei es jedoch nicht zu einer Verdampfung des flüssigen IPA durch die Heizspirale kommen sollte. Die Steuereinheit 52 kann die Heizspule 50 somit in Abhängigkeit von dem Temperatursensor 54 und/oder in Abhängigkeit von der gemessenen Konzentration an der Konzentrationsmesseinheit 56 ansteuern, und somit die IPA-Aufnahme durch das Stickstoffgas verändern, wobei primär eine Temperaturkompensation vorgesehen ist.

10

Die Steuereinheit 52 ist somit in der Lage, eine allmähliche Veränderung der IPA-Konzentration infolge einer Abkühlung der IPA-Flüssigkeit zu verhindern. Die Steuereinheit 52 ist ferner in der Lage, Konzentrationsschwankungen, die beispielsweise durch sich ändernde Druckverhältnisse entstehen, ebenfalls auszugleichen. Darüber hinaus kann die Steuereinheit 52 eine bewusste Konzentrationsänderung des aufgenommenen IPA vornehmen durch Erhitzen oder Abkühlen des flüssigen IPA 32, um beispielsweise beim Ausheben von Wafern eine erhöhte Konzentration des IPA in dem Gasgemisch zur Verfügung zu stellen.

20

Obwohl in Fig. 2 nur eine Heizspule 50 als Temperatursteuerelement vorgesehen ist, könnte natürlich auch eine Heiz-/Kühlvorrichtung in dem Bubbler 31 vorgesehen sein, durch die beispielsweise wahlweise eine erhitzte oder eine abgekühlte Flüssigkeit strömt. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn eine aktive Konzentrationseinstellung über eine Kühlung des flüssigen IPA 32 gewünscht ist. Auch ist es nicht notwendig, die Heizspirale oder eine alternative Heiz-Kühlvorrichtung im Bubbler, d.h. in dem flüssigen IPA, vorzusehen. Vielmehr könnte die Heizspirale oder eine alternative Heiz-Kühlvorrichtung außerhalb des Bubblers vorgesehen sein.

30

Fig. 3 zeigt eine weitere alternative Ausführungsform eines Gaserzeugungsabschnitts 20 der Behandlungsvorrichtung 1. Der Gaserzeugungsabschnitt besitzt einen ersten MFC 60 für Stickstoffgas und einen zweiten MFC 62 für

flüssigen Isopropylalkohol (IPA). Die ersten und zweiten MFC 60, 62 stehen über entsprechende Leitungen mit einem Verdampfer 64 in Verbindung. In dem Verdampfer 64 wird das eingeleitete flüssige IPA unter Wärmezufuhr verdampft und mit dem eingeleiteten Stickstoffgas vermischt. Eine Ausgangsleitung 66 des Verdampfers steht mit der Haube 15 der Behandlungsvorrichtung 1 gemäß Fig. 1 in Verbindung. In der Leitung 66 zwischen Verdampfer 64 und Haube 15 ist eine Konzentrationsmesseinheit 68 zur Messung der IPA-Konzentration in dem entstehenden Gasgemisch vorgesehen. Die Konzentrationsmesseinheit 68 steht mit einer Steuereinheit 70 in Verbindung, die wiederum die MFC 60 und 62 über entsprechende Leitungen ansteuert. Der Betrieb des Gaserzeugungsabschnitts 20 gemäß Fig. 3 wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Fig. 3 näher erläutert.

Über den MFC 60 wird kontinuierlich eine vorbestimmte Menge eines Stickstoffgases in den Verdampfer 64 geleitet, während gleichzeitig über den MFC 62 eine vorbestimmte Menge von flüssigem IPA in den Verdampfer 64 geleitet wird. In dem Verdampfer 64 wird das flüssige IPA verdampft und mit dem Stickstoffgas vermischt. Das dabei entstehende Gasgemisch wird über die Leitung 66 in die Haube 15 geleitet.

Die IPA-Konzentration in der Leitung 66 wird über die Konzentrationsmeseinheit 68 gemessen und das Messergebnis wird an die Steuereinheit 70 weitergeleitet. Wenn die gemessene Konzentration von einer gewünschten Konzentration abweicht, kann die Steuereinheit den Volumenstrom des Stickstoffgases durch den MFC 60, oder den Volumenstrom von flüssigem IPA durch den MFC 62 verändern, um hierdurch eine Konzentrationsänderung herbeizuführen. Die Konzentration des sich ergebenden Gasgemisches kann bei dem dargestellten Gaserzeugungsabschnitt 20 gemäß Fig. 3 gemäß vorgegebener Prozessparameter rasch verändert werden.

Obwohl in Fig. 3 eine Konzentrationsmeseinheit 68 dargestellt ist, könnte diese weggelassen werden, da der MFC 60 und der MFC 62 das kontrollierte Einleiten bestimmter Mengen von Stickstoffgas bzw. flüssigem IPA in den

Verdampfer 64 ermöglichen, so dass das sich im Verdampfer 64 ergebende Gasmisch eine vorbestimmte Konzentration besitzt. Eine nachträgliche Konzentrationsmessung ist mit anschließender Regelung der Volumenströme durch den MFC 60 oder 62 ist daher nicht unbedingt notwendig.

5

Fig. 4 stellt eine weitere Ausführungsform eines Gaserzeugungsabschnitts 20 dar. In Fig. 4 werden dieselben Bezugszeichen verwendet wie in Fig. 1, sofern dieselben oder äquivalente Elemente betroffen sind.

- 10 Der Gaserzeugungsabschnitt 20 weist eine Zuleitung 22 für Stickstoffgas auf, die mit einem ersten MFC 24 sowie einem zweiten MFC 25 verbunden ist. Die MFC 24 besitzt eine Ausgangsleitung 29, die in gleicher Weise wie in Fig. 1 gezeigt ist, mit einem Bubbler 31 in Verbindung steht. Der Bubbler 31 besitzt eine schematisch dargestellte Temperatursteuereinrichtung 74 zum Einstellen
- 15 der Temperatur des flüssigen IPA in dem Bubbler 31. Die Temperatureinstellvorrichtung 74 kann beispielsweise den in Fig. 2 gezeigten Aufbau besitzen oder einen beliebigen anderen, der eine Steuerung oder Regelung der Temperatur des flüssigen IPA in dem Bubbler 31 ermöglicht.
- 20 Der Bubbler 31 besitzt eine Ausgangsleitung 34, die zu einem MFC 76 führt. Eine Ausgangsleitung 78 des MFC 76 führt wiederum zu der in Fig. 1 dargestellten Haube. Die MFC 25 besitzt ebenfalls eine Ausgangsleitung 37, die mit dem MFC 76 in Verbindung steht. Die MFCs 24 und 25 werden über eine Steuereinheit 80 angesteuert, während die MFC 76 über eine Steuereinheit 81
- 25 angesteuert wird. Obwohl in Fig. 4 zwei getrennte Steuereinheiten 80, 81 dargestellt sind, könnten diese auch in einer einzelnen Steuereinheit kombiniert werden.

- 30 Ferner ist es möglich, in der Ausgangsleitung 34 des Bubblers bzw. in der Ausgangsleitung 78 der MFC 76 eine Konzentrationsmesseinheit vorzusehen, deren Messergebnis an die Steuereinheit 80 und/oder die Temperatureinstellvorrichtung 74 weitergeleitet wird, um wie unter Bezugnahme auf Fig. 1 beschrieben bzw. wie unter Bezugnahme auf Fig. 2 beschrieben, eine Konzen-

trationsänderung von IPA in dem Gasgemisch aus IPA und Stickstoff zu erreichen.

Der Betrieb des Gaserzeugungsabschnitts 20 erfolgt in entsprechender Weise wie bei dem Gaserzeugungsabschnitt gemäß Fig. 1, wobei zusätzlich eine Temperatursteuerung, wie sie unter Bezugnahme auf Fig. 2 beschrieben wurde, möglich ist. Jedoch ist bei dem Gaserzeugungsabschnitt 20 gemäß Fig. 4 zusätzlich eine MFC 76 vorgesehen, der wiederum speziell eine bestimmte Menge des Gasgemisches aus IPA und Stickstoff in die Haube 15 einleitet.

Fig. 5 zeigt eine Kurve, welche die Veränderung der IPA-Konzentration während eines herkömmlichen Trocknungsvorgangs von Halbleiterwafern in einem System mit Behandlungsbecken und Haube zeigt. Die aufgetragenen Punkte zeigen den Konzentrationsverlauf in % LEL bei gleichbleibendem Stickstoff-Volumenstrom durch einen herkömmlichen Bubbler ohne Strömungs- und/oder Temperaturkompensation, wobei die IPA-Konzentration im Bereich der Wasseroberfläche gemessen wurde. Die Kennlinie wurde bei der Trocknung von 200 mm Wafern, die mit halben Normalabstand zueinander angeordnet waren, aufgezeichnet.

Die Y-Achse zeigt die IPA-Konzentration in % LEL in einem Stickstoff-IPA-Gasgemisch, und die X-Achse definiert eine Zeitachse mit der Zeit t in Sekunden. Unterschiedliche Phasen des Prozesses werden nachfolgend erläutert.

Während einer anfänglichen - nicht dargestellten - Spülphase, bei der die Halbleiterwafer in DI-Wasser gespült werden, wird kein Gasgemisch in die Haube eingeleitet. Während der Spülphase wird DI-Wasser mit hohem Durchfluß durch das Behandlungsbecken 6 hindurchgeleitet, so dass es in den Überlauf 7 überläuft. Nach dem Spülen wird der Durchfluß des DI-Wassers verringert und es bildet sich eine im Wesentlichen flache Wasseroberfläche.

Zum Zeitpunkt $t = 0$ wird der Stickstoff-Volumenstrom durch den Bubbler gestartet, sodaß kurze Zeit später eine ansteigende IPA-Konzentration in der

Haube gemessen wird. Wie zu erkennen ist, steigt die Konzentration bis ungefähr zum Zeitpunkt $t = 105$ kontinuierlich an und pendelt sich dann auf ein durchschnittliches Niveau von ungefähr 22 % LEL ein. Nach dem Erreichen eines im Wesentlichen konstanten Niveaus wird ungefähr zum Zeitpunkt $t =$

5 120 damit begonnen die Wafer langsam aus dem DI-Wasser auszuheben. Dies geschieht durch Anheben eines entsprechenden Hubelementes, das die Wafer aus dem DI-Wasser heraushebt. Spätestens zu diesem Zeitpunkt sollte der Durchfluß des DI-Wassers verringert sein, um die im Wesentlichen flache Wasseroberfläche zu bilden.

10

Zum Zeitpunkt $t = 225$ sind die Wafer ungefähr zur Hälfte ausgehoben und zum Zeitpunkt $t = 375$ wird die Hubbewegung des Hubelements gestoppt. Zu diesem Zeitpunkt sind die Wafer vollständig ausgehoben und befinden sich über der Wasseroberfläche.

15

Während des Heraushebens der Wafer kommt es, wie in Fig. 5 zu erkennen ist, zu einem zwischenzeitlichen Absinken der IPA-Konzentration auf unter 20 % LEL, obwohl der Stickstoff-Volumenstrom durch den Bubbler konstant beibehalten wurde. Dieses Absinken und das anschließende Ansteigen der IPA-

20 Konzentration auf das Anfangsniveau - vor dem Ausheben - ist durch Veränderung der Meniskusoberfläche und die dadurch folgende Veränderung der absoluten Menge gelöstem IPA's in der Wasseroberfläche während des Heraushebens der Wafer aus dem DI-Wasser bedingt, wie schon Eingangs erwähnt.

25

Anschließend wird zum Zeitpunkt $t = 435$ mit dem Ablassen des DI-Wasser begonnen, was üblicherweise über ein Schnellablassventil erfolgt. Zum Zeitpunkt $t = 450$ wird die IPA-Zuleitung eingestellt und zum Zeitpunkt $t = 465$ wird der Stickstoff-Volumenstrom eingestellt. Wie in Fig. 5 zu erkennen ist,

30 steigt die IPA-Konzentration innerhalb des Gasgemisches zunächst an, was unter Anderem auf eine Anreicherung des IPA im Gasgemisch zurückzuführen ist, welche eintritt, da durch den fehlenden Überlauf mit IPA angereichertes DI-Wasser nicht mehr abtransportiert wird. Nach dem Anstieg der IPA-

Konzentration fällt sie stark ab, was durch das Beenden der IPA-Zuleitung und eine anschließende kurze Spülung mit reinem Stickstoff bedingt ist. Dies führt dazu, dass die IPA-Konzentration auf Null abfällt.

- 5 Die Erfindung wurde anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben, ohne auf die speziell dargestellten Ausführungsbeispiele beschränkt zu sein. Beispielsweise können die Prinzipien der vorliegenden Erfindung auch bei einem System eingesetzt werden, bei dem die Wafer nicht durch eine Hubvorrichtung aus der Behandlungsflüssigkeit herausgehoben
- 10 werden, sondern durch Ablassen der Behandlungsflüssigkeit aus ihr heraus bewegt werden. Die Merkmale der unterschiedlichen Ausführungsbeispiele sind frei miteinander kombinierbar bzw. austauschbar, sofern sie kompatibel sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Trocknen von Substraten, insbesondere Halbleiterwa-
fern, nach einer Naßbehandlung in einer Behandlungsflüssigkeit, bei
5 dem ein die Oberflächenspannung der Behandlungsflüssigkeit reduzie-
rendes Gasgemisch bestehend aus einem Trägergas und einer aktiven
Komponente auf die Behandlungsflüssigkeit aufgebracht wird und die
Substrate durch Erzeugen einer Relativbewegung zwischen den Sub-
straten und der Flüssigkeit aus dieser herausbewegt werden, dadurch
10 gekennzeichnet, dass die Konzentration der aktiven Komponente im
Gasgemisch aktiv gesteuert oder geregelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, das Gasgemisch
durch Mischen von in Wesentlichem reinen Trägergas und einer Mi-
15 schung aus Trägergas und der aktiven Komponente gebildet wird..
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die
Mischung aus Trägergas und der aktiven Komponente durch Leiten des
Trägergases durch eine Flüssigkeit der aktiven Komponente gebildet
20 wird und die Temperatur der Flüssigkeit der aktiven Komponente auf
eine vorbestimmte Temperatur gesteuert oder geregelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Tempe-
ratur der Flüssigkeit der aktiven Komponente im Wesentlichen konstant
25 gehalten wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Tempe-
ratur der Flüssigkeit der aktiven Komponente über einen Trocknungs-
vorgang hinweg kontrolliert verändert wird.
- 30 6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Kon-
zentration der aktiven Komponente in der Mischung aus Trägergas und
der aktiven Komponente gemessen wird und die Temperatur der Flüs-

sigkeit der aktiven Komponente in Abhängigkeit von der gemessenen Konzentration eingestellt wird:

- 5 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Volumenstrom des Trägergases gesteuert oder geregelt wird und insbesondere über einen Trocknungsvorgang hinweg verändert wird.
- 10 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Konzentration der aktiven Komponente in der Mischung aus Trägergas und der aktiven Komponente gemessen wird und der Volumenstrom des Trägergases in Abhängigkeit von der gemessenen Konzentration eingestellt wird.
- 15 9. Verfahren zum Trocknen von Substraten, insbesondere Halbleiterwafern, nach einer Naßbehandlung in einer Behandlungsflüssigkeit, bei dem ein die Oberflächenspannung der Behandlungsflüssigkeit reduzierendes Gasgemisch bestehend aus einem Trägergas und einer aktiven Komponente auf die Behandlungsflüssigkeit aufgebracht wird und die
- 20 Substrate durch Erzeugen einer Relativbewegung zwischen den Substraten und der Flüssigkeit aus dieser herausbewegt werden, dadurch gekennzeichnet, dass das Gasgemisch wenigstens teilweise durch Einleiten einer vorbestimmten Menge des Trägergases und einer vorbestimmten Menge einer Flüssigkeit der aktiven Komponente in einen
- 25 Verdampfer gebildet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Konzentration der aktiven Komponente im Gasgemisch gesteuert oder geregelt wird.
- 30 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Konzentration der aktiven Komponente im Gasgemisch nach dem Verdampfer gemessen und der Volumenstrom des Trägerga-

ses und/oder der Flüssigkeit der aktiven Komponente in Abhängigkeit von der gemessenen Konzentration eingestellt wird, um eine vorgegebene Konzentration zu erhalten.

- 5 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Konzentration der aktiven Komponente im Gasgemisch in Abhängigkeit von der Position des Substrates relativ zur Oberfläche verändert wird.
- 10 13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Konzentration der aktiven Komponente im Gasgemisch bei anwachsender Schnittfläche zwischen den Substraten und der Behandlungsflüssigkeit erhöht und bei sich verringernder Schnittfläche verringert wird.
- 15 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die aktive Komponente Isopropylalkohol (IPA) ist, und die durchschnittliche IPA-Konzentration im Gasgemisch unter 15%, insbesondere unter 10% des unteren Explosionsniveaus (LEL) gehalten wird.
- 20 15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die durchschnittliche IPA-Konzentration im Gasgemisch zwischen 3% und 10% des unteren Explosionsniveaus (LEL) gehalten wird.

Zusammenfassung

Um bei einem Verfahren zum Trocknen von Substraten, insbesondere Halbleiterwafern, nach einer Naßbehandlung in einer Behandlungsflüssigkeit, bei dem ein die Oberflächenspannung der Behandlungsflüssigkeit reduzierendes Gasmisch bestehend aus einem Trägergas und einer aktiven Komponente auf die Behandlungsflüssigkeit aufgebracht wird und die Substrate durch Erzeugen einer Relativbewegung zwischen den Substraten und der Flüssigkeit aus ihr herausbewegt werden eine wählbare, vorzugsweise konstante IPA-Konzentration zu jedem Zeitpunkt des Trocknungsprozesses vorzusehen, wird die Konzentration der aktiven Komponente im Gasmisch aktiv gesteuert oder geregelt. Alternativ wird das Gasmisch wenigstens teilweise durch Einleiten einer vorbestimmten Menge des Trägergases und einer vorbestimmten Menge einer Flüssigkeit der aktiven Komponente in einen Verdampfer gebildet.

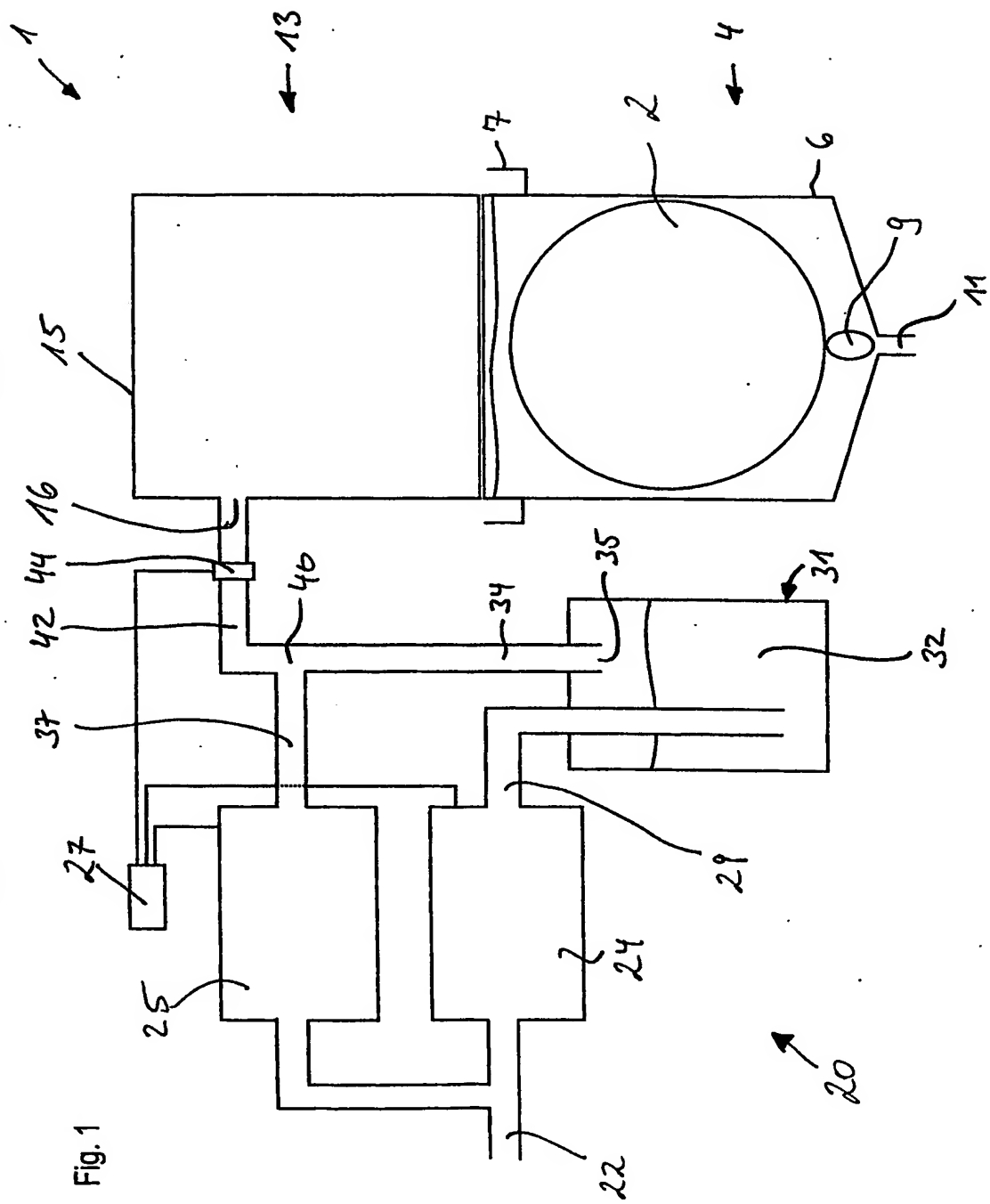


Fig. 1

Fig. 2

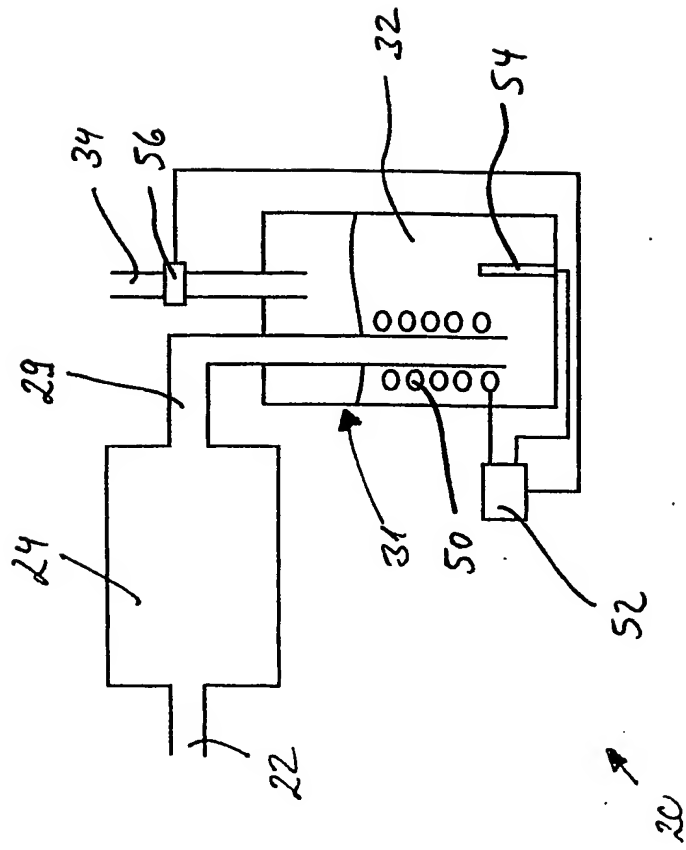
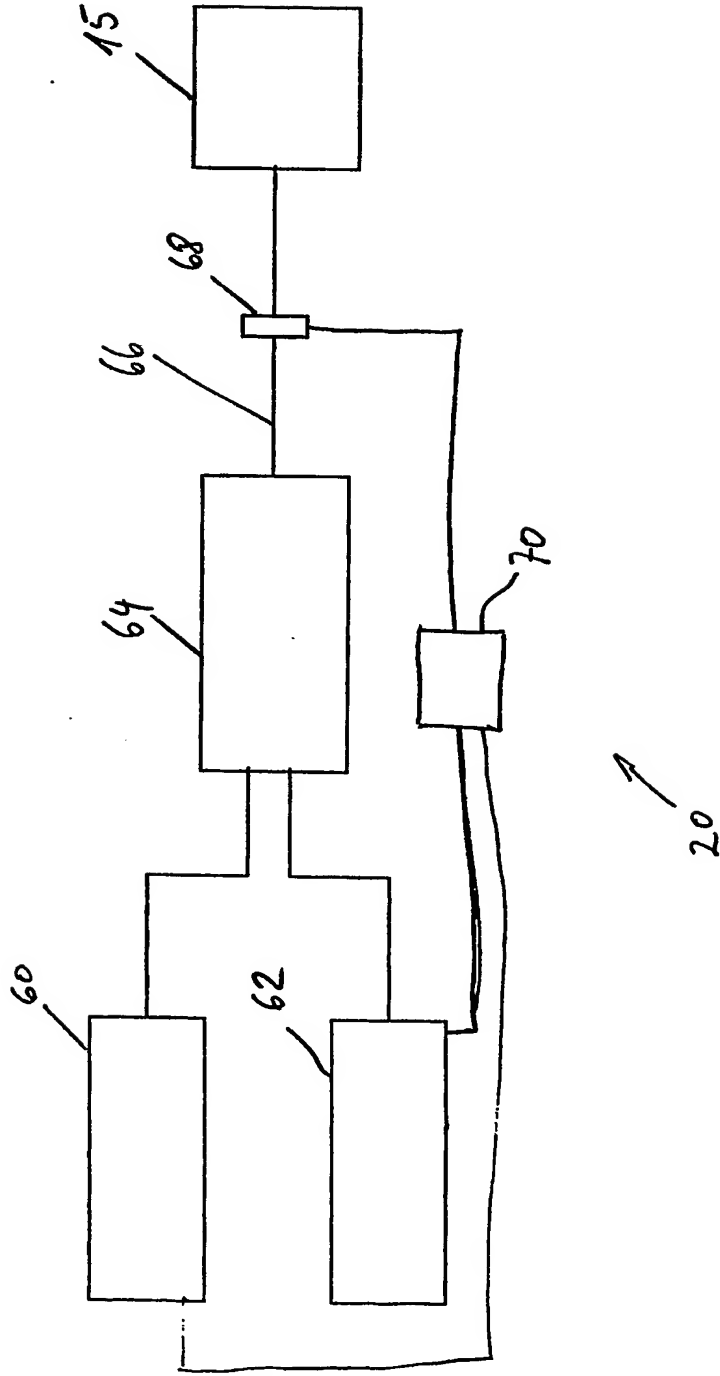


Fig. 3



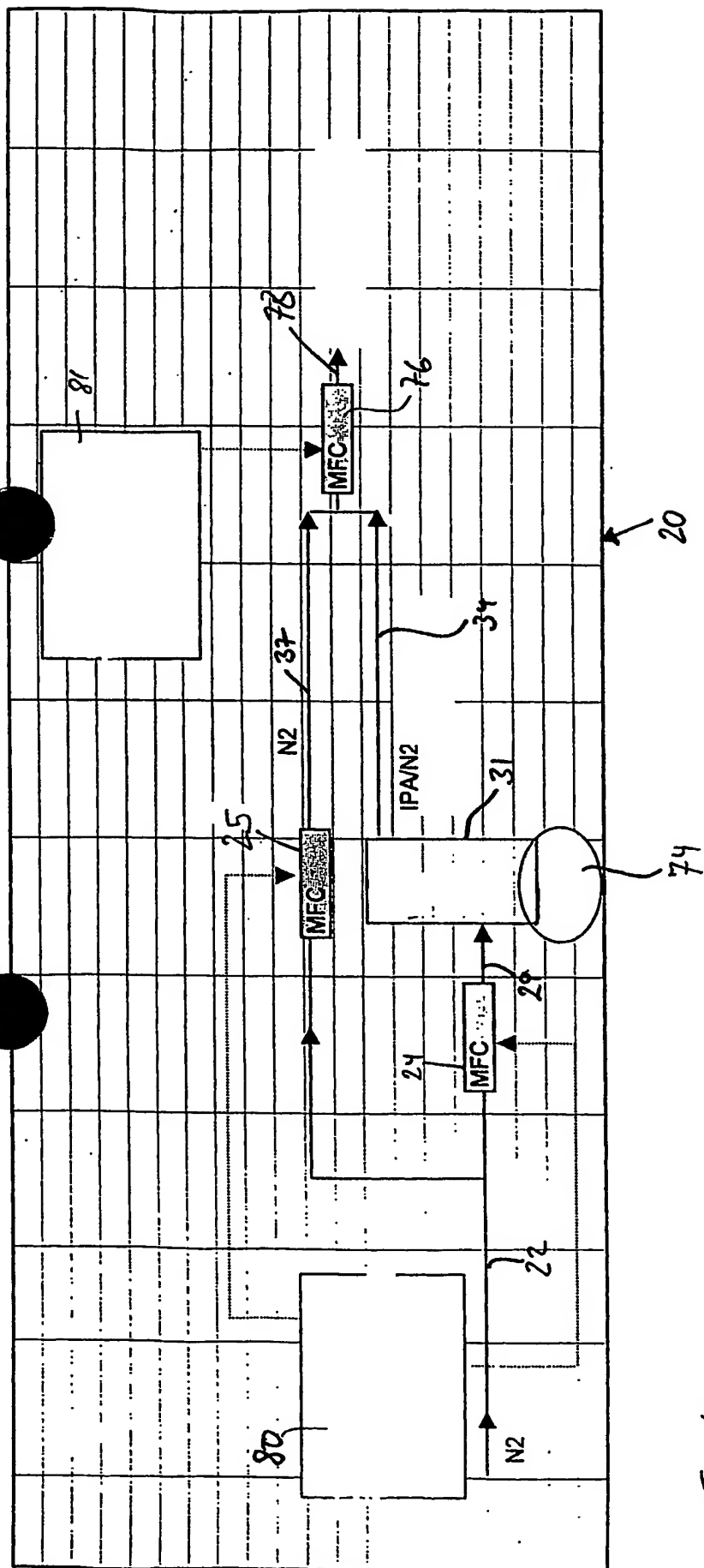
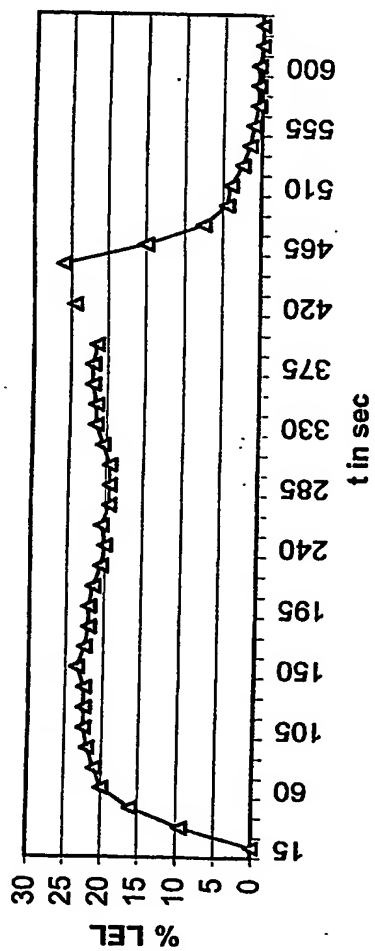


Fig. 4

Fig. 5



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.